

مطالعه کانی‌شناسی اولیه کربنات‌های سازند قم با استفاده از مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی در برش کانسار سلسنتین مادآباد (جنوب زنجان)

مهسا نوری^۱، افشین زهدی^{۲*}، حسین کوهستانی^۲، قاسم نباتیان^۲ و میرعلی اصغر مختاری^۲

۱. کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان

۲. استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان

۳. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه زنجان

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹/۱۱

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۱/۲۷

چکیده

سازند قم تنها مخزن گازی موجود در حوضه رسوبی ایران مرکزی محسوب می‌شود. این سازند در بیشتر مناطق این حوضه با ناپیوستگی فرسایشی بر روی نهشته‌های سازند قرمز تحتانی قرار گرفته و به‌صورت هم‌شیب توسط سازند قرمز بالایی پوشیده شده است. نهشته‌های سازند قم در برش کانسار سلسنتین مادآباد (جنوب زنجان) با ۱۹۰ متر ستبراً عمدتاً شامل سنگ آهک‌های ضخیم‌لایه تا توده‌ای، سنگ‌آهک مارنی و مارن می‌باشد. پنج ریزرخساره اصلی در بخش‌های سنگ آهکی این سازند در منطقه مادآباد قابل شناسایی است. این ریزرخساره‌ها احتمالاً در یک پلت‌فرم کربناته از نوع شلف رسوب کرده‌اند. نتایج مطالعات پتروگرافی نشان‌دهنده ترکیب کانی‌شناسی اولیه کلسیتی برای بخش‌های سنگ آهکی سازند قم در منطقه مادآباد می‌باشد. نتایج مطالعات ژئوشیمیایی (Na, Sr, Ca, Mg, Mn, Fe) نیز بیانگر ترکیب کانی‌شناسی اولیه کلسیتی در یک سیستم بسته دیازنتیکی و با میزان پایین انحلال است. شواهد مذکور بیانگر نقش کلیدی تر شکستگی‌ها در مقایسه با فرایندهای دیازنتزی و انحلال در بالا رفتن کیفیت مخزنی سازند قم در میدان‌های گازی ایران مرکزی (نظیر میدان‌های سراج و البرز) است.

واژه‌های کلیدی: ژئوشیمی، کانی‌شناسی اولیه کلسیتی، سازند قم، مادآباد، زنجان.

مقدمه

علاقه به مطالعه دیرینه‌شناسی، چینه‌شناسی و تکتونیک

این سازند فسیلی بیشتر شد (Schuster and Wielandt, 1999). با وجود مطالعات متعدد انجام‌شده جهت تعیین ویژگی‌های مختلف زمین‌شناختی سازند قم (Furrer and Soder, 1955, Okhravi and Amini, 1998, Vaziri-Moghaddam and Torabi, 2004, Daneshian and

سازند قم با سن الیگومیوسن به‌عنوان مهم‌ترین سازند هیدروکربنی شناخته شده در پهنا ایران مرکزی و تنها مخزن گازی موجود در این حوضه رسوبی در نظر گرفته می‌شود. در سال ۱۹۳۴ با کشف ذخایر هیدروکربوری در سازند قم،

* نویسنده مرتبط: afshin.zohdi@znu.ac.ir

نمونه‌ها با حداقل محتوای فسفیل) انتخاب گردید. پودر نمونه‌ها در مرحله آماده‌سازی توسط مته‌های دندان‌پزشکی تهیه شد و برای اندازه‌گیری عناصر اصلی و فرعی و تعیین ترکیب کلی سنگ به آزمایشگاه شرکت زرآما در تهران ارسال و به روش‌های ICP و XRF آنالیز گردید.

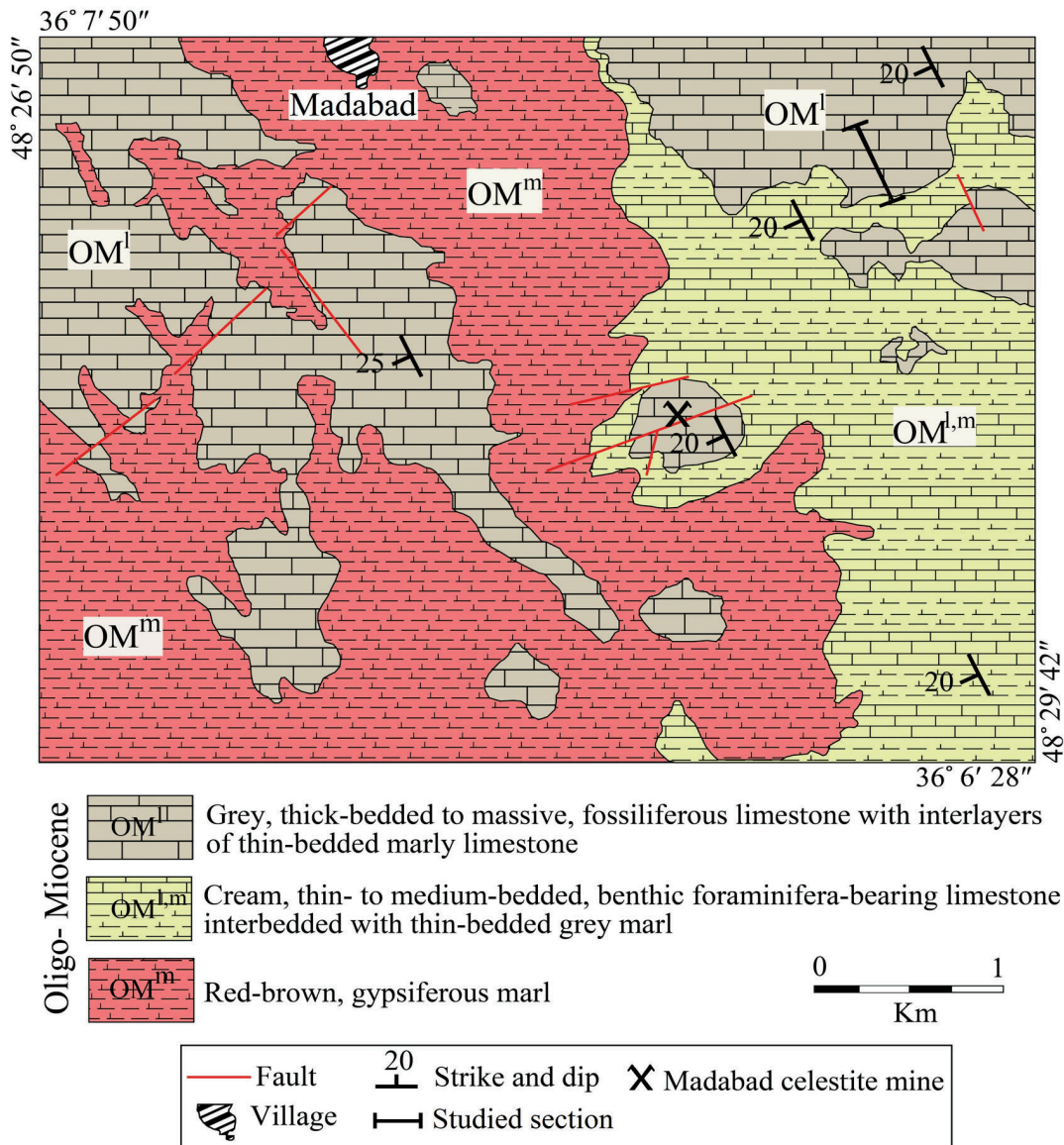
زمین‌شناسی و چینه‌شناسی منطقه مادآباد

در تقسیم‌بندی پهنه‌های ساختاری-رسوبی ایران (آقائباتی، ۱۳۸۳)، منطقه مادآباد در پهنه ایران مرکزی واقع شده و بخشی از ورقه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ سلطانیه-خداوند (علوی نائینی، ۱۳۷۲) و حلب (شهیدی و بهار فیروزی، ۱۳۸۰)، می‌باشد. سازند قم در این منطقه با یک ناپیوستگی فرسایشی بر روی انباشته‌های سازند قرمز تحتانی قرار گرفته و به صورت هم‌شیب توسط نهشته‌های ماسه‌سنگی سازند قرمز بالایی پوشیده شده است. براساس مطالعات صحرایی انجام‌شده در قالب تهیه نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۵۰۰۰، سازند قم در محدوده کانسار سلسنتین مادآباد از قدیم به جدید شامل مارن‌های ژپیس‌دار، آهک‌های نازک تا متوسط لایه با میان‌لایه‌های مارنی و سنگ آهک‌های ضخیم لایه تا توده‌ای با میان‌لایه‌های آهک مارنی می‌باشد (شکل‌های ۱ و ۲). روند عمومی لایه‌بندی در این واحدها شمال تا شمال‌باختر-جنوب تا جنوب‌خاور با شیب به سمت باختر-جنوب‌باختر است (شکل ۱). مارن‌های ژپیس‌دار به رنگ قرمز تا قهوه‌ای بوده و بیشتر در بخش‌های مرکزی، جنوب و جنوب‌باختری منطقه گسترش دارند. این واحد به صورت پیوسته و هم‌شیب توسط آهک‌های نازک تا متوسط لایه کرم رنگ با میان‌لایه‌های مارنی پوشیده شده است. واحد اخیر بیشتر در بخش‌های خاوری منطقه گسترش داشته و فسیل‌های فرامینیفر بنتیک در بخش‌های آهکی آن به وفور دیده می‌شود. بالاترین بخش توالی سنگی منطقه از آهک‌های ضخیم لایه تا توده‌ای خاکستری رنگ دارای قطعات فسیلی فراوان با میان‌لایه‌های آهک مارنی تشکیل شده است که به صورت هم‌شیب واحدهای زیرین خود را می‌پوشاند. این واحد بیشتر در بخش‌های شمال‌خاور و شمال‌باختر تا باختر منطقه گسترش داشته و میزبان کانه‌زایی سلسنتین منطقه می‌باشد.

Ramezani Dana, 2007, Reuter et al., 2009, Mohammadi et al., 2011)، تاکنون مطالعه علمی دقیقی در ارتباط با ویژگی‌های ژئوشیمیایی و تعیین ترکیب کانی‌شناسی اولیه این سازند انجام نشده است. لذا در این پژوهش، به منظور شناخت و تعیین شرایط رسوب‌گذاری و ترکیب کانی‌شناسی اولیه، یک برش چینه‌شناسی مناسب از این سازند در محدوده کانسار سلسنتین مادآباد انتخاب و مورد مطالعه دقیق صحرایی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی (عناصر اصلی و فرعی) قرار گرفت. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند مورد توجه زمین‌شناسان به خصوص محققین حوزه رسوب و نفت قرار گیرد. کانسار سلسنتین مادآباد در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری جنوب زنجان و ۲۲ کیلومتری باختر قیدار با موقعیت جغرافیایی $48^{\circ} 29' 15''$ طول خاوری و $36^{\circ} 07' 32''$ عرض شمالی واقع شده و از طریق جاده زنجان-قیدار و قیدار-کرسف-روستای مادآباد قابل دسترسی می‌باشد.

روش مطالعه

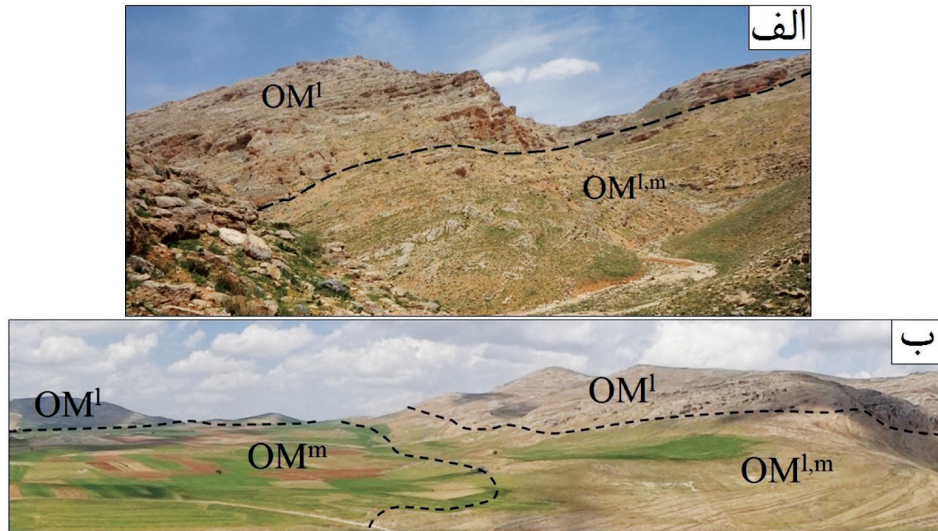
پس از مطالعات صحرایی و با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰,۰۰۰ سلطانیه-خداوند (علوی نائینی، ۱۳۷۲) و حلب (شهیدی و بهار فیروزی، ۱۳۸۰)، برش چینه‌شناسی مناسب از نهشته‌های الیگوسن تا میوسن پیشین معادل با بخش f سازند قم در محدوده کانسار سلسنتین مادآباد انتخاب گردید. طی مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری، ستیرا، رنگ، سنگ‌شناسی، مرز بین لایه‌ها و اندازه ذرات آنها مورد بررسی قرار گرفته و تعداد ۶۰ نمونه از کربنات‌های سازند قم برداشت شد. ویژگی‌های فسیل‌شناسی، سنگ‌شناسی و ریزرخساره‌ای نمونه‌ها، پس از رنگ‌آمیزی توسط محلول آلزارین قرمز (Dickson, 1966) در مقاطع نازک میکروسکوپی مورد مطالعه قرار گرفت. نام‌گذاری سنگ‌های کربناته براساس تقسیم‌بندی‌های رایج و متداول نظیر دانهام (Dunham, 1962) بوده است. در تفسیر ریزرخساره‌ها و تعیین محیط رسوبی نیز از روش فلوگل (Flügel, 2010) استفاده شده است. سپس، جهت بررسی‌های رخساره‌ای و ژئوشیمیایی سازند قم در منطقه مورد مطالعه، ۲۰ نمونه کربناتی (دربرگیرنده بخش میکرایتی



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی مقیاس ۱:۵۰۰۰ تهیه شده از منطقه مادآباد (نوری، ۱۳۹۷)

از آهک مارنی و حاوی خُرده‌های فسیلی جلبک قرمز، ۲/۵ متر آهک مارنی نازک‌لایه خاکستری رنگ فاقد فسیل، ۳۰ متر سنگ آهک‌های ضخیم‌لایه و توده‌ای خاکستری رنگ با میان‌لایه‌هایی از آهک مارنی و دارای خُرده‌های فسیلی خاریوست، ۲/۵ متر آهک مارنی نازک‌لایه خاکستری رنگ فاقد فسیل و سرانجام ۷۰ متر سنگ آهک‌های ضخیم‌لایه تا توده‌ای خاکستری رنگ با میان‌لایه‌هایی از آهک مارنی و دارای خُرده‌های فسیلی نظیر فرامینیفرهای بنتیک تشکیل شده است.

بخش کربناته سازند قم در منطقه مادآباد حدود ۱۹۰ متر ستبراً دارد. ستون چینه‌شناسی این سازند در برش کانسار مادآباد در شکل ۳ نشان داده شده است. مطابق این شکل، از دیدگاه سنگ‌شناسی این سازند از ۷ بخش شامل: ۲۵ متر تناوب سنگ آهک‌های نازک تا متوسط‌لایه کرم رنگ با میان‌لایه‌های مارنی و دارای فرامینیفرهای بنتیک بزرگ نظیر یولپیدینا، ۳۰ متر سنگ آهک ضخیم‌لایه خاکستری تا کرم رنگ حاوی قطعات فراوان مرجان، ۳۰ متر سنگ آهک ضخیم‌لایه خاکستری روشن تا تیره با میان‌لایه‌هایی



OM¹: Grey, thick-bedded to massive, fossiliferous limestone with interlayers of thin-bedded marly limestone

OM^{1.m}: Cream, thin- to medium-bedded, benthic foraminifera-bearing limestone interbedded with thin-bedded grey marl

OM^m: Red-brown, gypsiferous marl

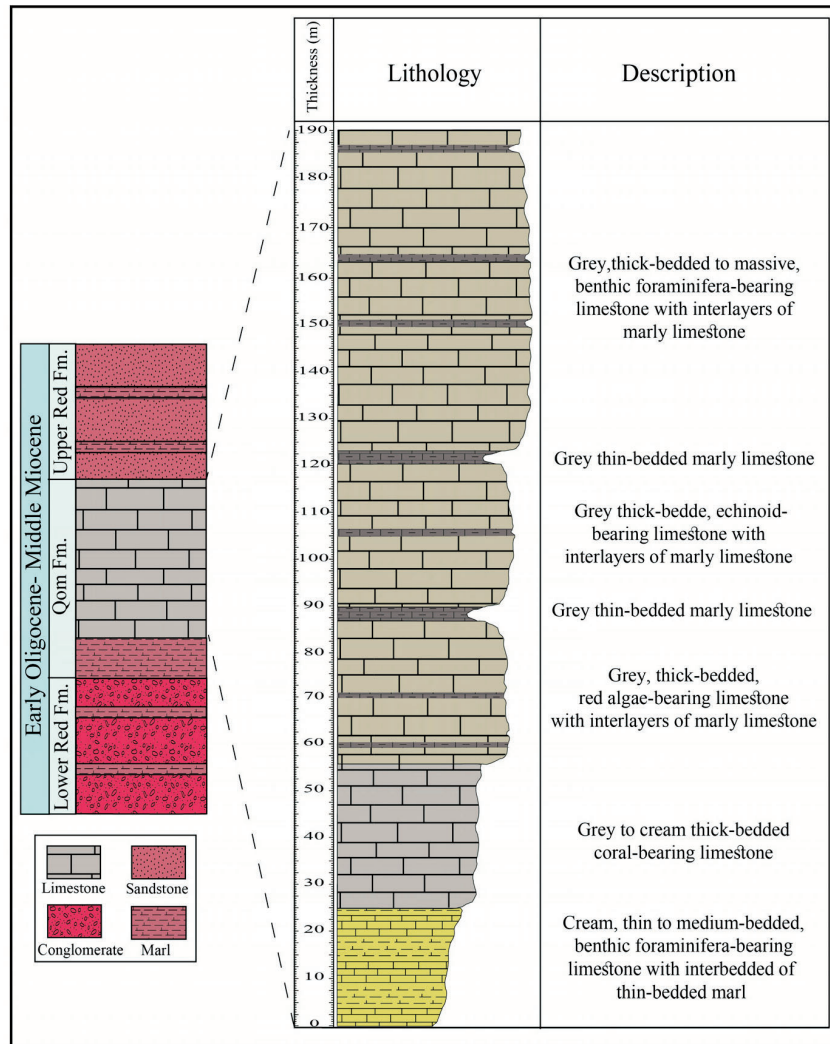
شکل ۲. نماهایی از واحدهای سنگی سازند قم در برش کانسار سلسنتین مادآباد (دید هر دو تصویر به سمت شمال‌باختر). الف) نمای کلی از سازند قم در برش مورد مطالعه که بخش‌های پایینی آن از سنگ آهک‌های نازک تا متوسط لایه فسیل‌دار با میان‌لایه‌های مارنی و بخش‌های بالایی آن از سنگ آهک‌های ضخیم‌لایه تا توده‌ای فسیل‌دار با میان‌لایه‌های سنگ آهک مارنی تشکیل شده است، ب) توالی سنگ آهک‌های سازند قم که بر روی مارن‌های نازک‌لایه قرمز مایل به قهوه‌ای دربرگیرنده کانی‌های تبخیری (ژیپس) قرار گرفته است

پetroگرافی، ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی سازند قم در منطقه مادآباد

پetroگرافی، پنج ریزرخساره اصلی در واحدهای سنگ آهکی سازند قم در منطقه مادآباد قابل شناسایی است (شکل ۴). این ریزرخساره‌ها از محیط‌های کم‌عمق به سمت عمیق شامل ریزرخساره پکستون حاوی مرجان و جلبک، ریزرخساره پکستون تا وکستون حاوی بایوکلیست و جلبک قرمز، ریزرخساره پکستون تا وکستون حاوی فرامینیفر بنتیک منفذدار، ریزرخساره وکستون حاوی خارپوست و جلبک قرمز و در نهایت ریزرخساره وکستون حاوی بایوکلیست جلبک قرمز و فرامینیفر پلانکتون می‌باشند. ریزرخساره پکستون حاوی مرجان و جلبک در صحرا به صورت سنگ آهک‌های ضخیم‌لایه و خاکستری رنگ دیده شده و متعلق به بخش‌های قاعده‌ای توالی سازند قم در منطقه مورد مطالعه است. چارچوب اسکلتی اصلی این ریزرخساره را خُرده‌های درشت مرجان و جلبک قرمز با فراوانی به‌ترتیب

براساس نتایج مطالعات پetroگرافی، سنگ‌های آهکی سازند قم در منطقه مادآباد از آلوکم‌های اسکلتی مانند فرامینیفرهای بنتیک، جلبک قرمز، مرجان، خارپوست و فرامینیفرهای پلانکتون تشکیل شده‌اند. این ذرات در زمینه‌ای از گل کربناته و به صورت بافت گل پشتیبان (وکستون) و گاهی دانه پشتیبان (پکستون) قرار گرفته‌اند (شکل ۴). نتایج مطالعات پetroگرافی بیانگر تخلخل پایین (حدود ۱ درصد) و نقش ناچیز پدیده‌های دیاژنتیکی نظیر انحلال در این سنگ‌ها می‌باشد. این شواهد می‌تواند تأییدی بر کانی‌شناسی اولیه کلسیتی برای سنگ‌های آهکی سازند قم در منطقه مورد مطالعه باشد.

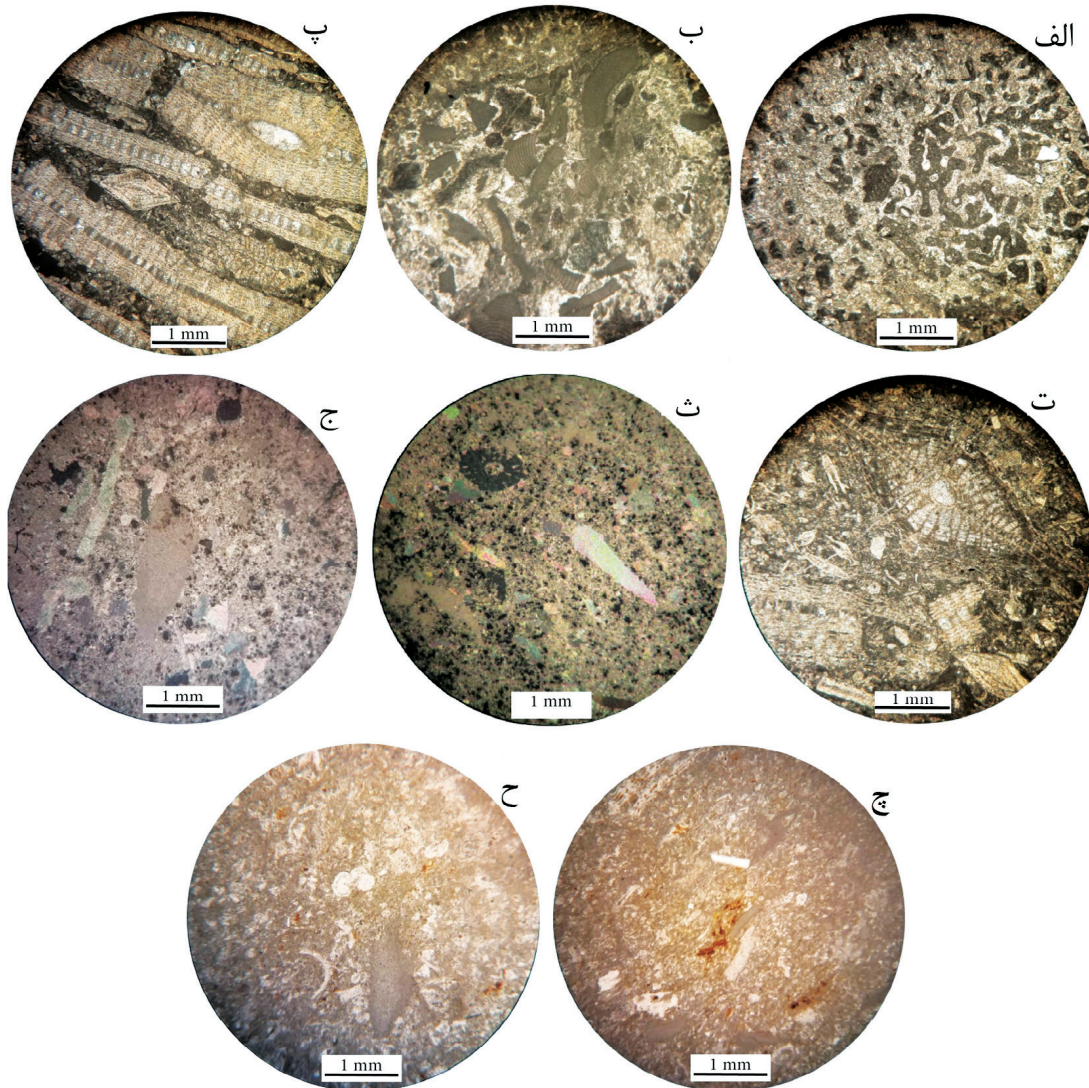
با توجه به مشاهدات صحرائی و نتایج مطالعات



شکل ۳. ستون چینه‌شناسی سازند قم در برش کانسار مادآباد

چنین رخساره‌ای توسط حسینی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۵) برای نهشته کربناته سازند قم در زمان میوسن واقع در جنوب‌باختر سمنان معرفی و شناسایی شده است. ریزرخساره پکستون تا وکستون حاوی فرامینیفر بنتیک منفذدار در صحرا بیشتر به صورت سنگ آهک‌های نازک تا متوسط لایه کرم رنگ و سنگ آهک رسی نازک لایه خاکستری رنگ مشاهده است. این ریزرخساره مربوط به بخش‌های قاعده‌ای توالی سازند قم در منطقه مادآباد است که حاوی قطعات فسیلی درشت نظیر فرامینیفرهای بنتیک با دیواره هیالین (از جمله یولپیدینا) می‌باشد. ریزرخساره وکستون حاوی خارپوست و جلبک قرمز در صحرا عمدتاً در داخل

۱۲ و ۱۸ درصد تشکیل می‌دهند. فرامینیفرهای بنتیک با دیواره هیالین، قطعات نرم‌تنان، خُرده‌های خارپوست و دوکفه‌ای نیز در مجموع با فراوانی ۱۶ درصد حضور دارند. ریزرخساره‌ی پکستون تا وکستون حاوی بایوکلست و جلبک قرمز در کل توالی سازند قم در منطقه مورد مطالعه قابل شناسایی می‌باشد. در مشاهدات صحرایی عمدتاً در داخل سنگ آهک‌های متوسط تا ضخیم لایه با میان لایه‌های آهک مارنی تشکیل شده است. ذرات اصلی تشکیل دهنده این ریزرخساره شامل جلبک کورالیناسه‌آ با فراوانی حدود ۲۰ درصد می‌باشد که در زمینه‌ای از گل کربناته و به صورت بافت گل پشتیبان تا دانه پشتیبان قرار گرفته‌اند. نظیر



شکل ۴. تصاویر میکروسکوپی (نور عبوری پلاریزه متقاطع، XPL) از ریزرخساره‌های شناسایی شده در سازند قم در برش کانسار مادآباد. الف) پکستون حاوی مرجان و جلبک قرمز (نمونه ۵۶)، ب) پکستون تا وکستون حاوی بایوکلیست جلبک قرمز (نمونه ۵۴)، پ و ت) پکستون تا وکستون حاوی فرامینیفر بنتیک منفذدار (نمونه‌های ۴۳ و ۴۴)، ث و ج) وکستون حاوی خارپوست و جلبک قرمز (نمونه‌های ۴۹ و ۵۰)، چ و ح) وکستون حاوی بایوکلیست جلبک قرمز و فرامینیفر پلانکتون (نمونه‌های ۶۷ و ۶۹)

تشکیل دهنده این ریزرخساره را جلبک قرمز با فراوانی ۱۰ درصد و فرامینیفرهای پلانکتون با فراوانی ۷ درصد تشکیل می‌دهند. اجتماع دانه‌های کربناتی سازند قم در برش کانسار مادآباد عمدتاً از فرامینیفرهای بنتیک بزرگ با دیواره هیالین و روشن تشکیل شده و همراهی آنها با جلبک‌های قرمز کورالیناسه‌آ نیز به فراوانی در داخل ریزرخساره‌ها مشاهده می‌گردد. حضور قابل ملاحظه فرامینیفرهای بنتیک با دیواره هیالین و روشن همراه با فرامینیفرهای پلانکتون در ریزرخساره‌های شناسایی

سنگ آهک‌های ضخیم‌لایه به رنگ خاکستری تا خاکستری متمایل به کرم واقع در بخش‌های زیرین توالی مورد مطالعه از سازند قم قرار گرفته است. ذرات اسکلتی اصلی این ریزرخساره خارپوست و جلبک قرمز با فراوانی به ترتیب ۱۸ و ۱۴ درصد می‌باشند. سنگ آهک در برگزیده ریزرخساره وکستون حاوی بایوکلیست جلبک قرمز و فرامینیفر پلانکتون، ضخیم تا توده‌ای خاکستری‌رنگ بوده و در بخش‌های فوقانی توالی سازند قم در منطقه مورد مطالعه قرار دارد. دانه‌های اصلی

کرده و نبود ریزرخساره‌های متعلق به محیط‌های ساحلی و لاگون‌های محصور، بیانگر یک محیط رسوبی دریای باز و با شوری نرمال دریایی در حین رسوب‌گذاری نهشته‌های کربناته سازند قم در بخش‌های جنوب زنجان می‌باشد. در این برش، فابریک فنسترال، استروماتولیت، پیژوئید و ذارت آواری کوارتز که بیانگر محیط‌های جزر و مدی هستند، شناسایی و معرفی نشده است که خود گواهی بر یک محیط دریایی باز در حین رسوب‌گذاری سازند قم می‌باشد. لازم به توضیح است که ریزرخساره‌های سازند قم در بخش‌های باختری محدوده مورد مطالعه در این پژوهش، واقع در بخش‌های جنوب‌باختر زنجان (روستاهای قمچقay و دهشیر)، حاکی از ریفی بودن سازند کربناته قم می‌باشند. در این مناطق که در فاصله حدود ۳۰ کیلومتری منطقه مورد مطالعه در این تحقیق قرار دارد، حضور ریف‌های پیوسته و واقعی قابل تعقیب در صحرا با ضخامت زیاد و همچنین تغییرات سریع ریزرخساره‌ها و سنگ‌شناسی، دلیل محکمی بر وجود ریف‌های پیوسته (سدهای ریفی) برای کربنات‌های سازند قم می‌باشد (به‌عنوان مثال: پورمحمدی، ۱۳۹۲، عالی‌پور و همکاران، ۱۳۹۵، ربانی و زهدی، ۱۳۹۶). بنابراین، حوضه رسوبی سازند قم در منطقه مورد مطالعه در این تحقیق را با توجه به نوع ریزرخساره‌های شناسایی شده می‌توان ادامه بخش‌های عمیق‌تر دریا (عدم‌تاً بخش‌های شلف میانی) و مربوط به بخش‌های جلوی ریف و به سمت دریای باز در نظر گرفت. حضور غالب میکرایت و مقادیر کم سیمان در اکثر ریزرخساره‌ها نیز بیانگر یک محیط رسوبی کم انرژی و در زیر خط اثر امواج دریا در حالت طوفانی در زمان رسوب‌گذاری کربنات‌های سازند قم در منطقه مادآباد می‌باشد.

مطالعات ژئوشیمیایی

نتایج آنالیزهای شیمیایی عناصر اصلی و فرعی ۲۰ نمونه از سنگ آهک‌های سازند قم در برش کانسار مادآباد در جدول ۱ ارائه شده است. براساس این جدول، مقدار استرانسیم در نمونه‌های سنگ آهکی مورد مطالعه، بین ۱۱۲ تا ۵۹۹ پی‌پی‌ام و مقدار سدیم بین ۳۷۱ تا ۵۱۹ پی‌پی‌ام در نوسان است. مقدار منگنز در این سنگ‌ها بین ۲۲ تا ۱۰۲ پی‌پی‌ام متغیر است. در نمونه‌های آهکی سازند قم در منطقه مورد مطالعه میزان آهن بین ۱۴۸ تا ۳۶۵۳ پی‌پی‌ام در تغییر است.

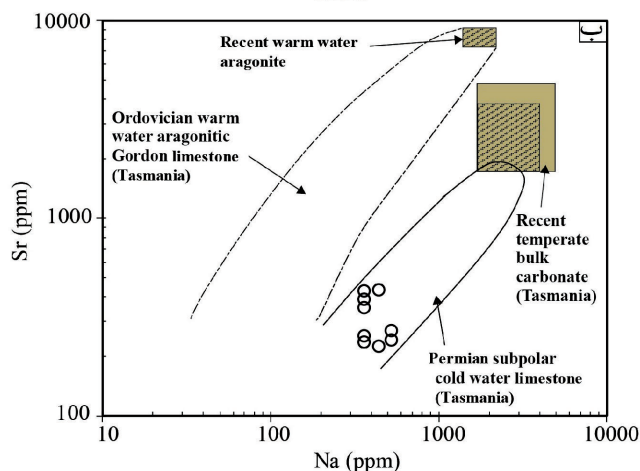
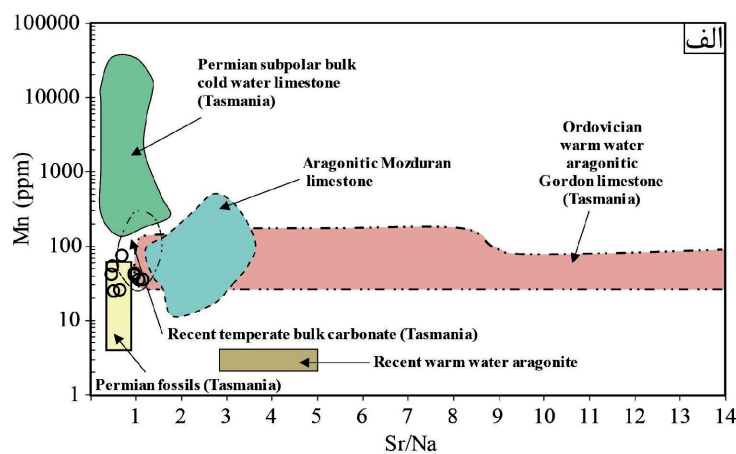
بحث و بررسی

جهت تعیین ترکیب کانی‌شناسی اولیه سنگ آهک‌های سازند قم در منطقه مادآباد و مقایسه آن با کربنات‌های آراگونیتی و کلسیتی عهد حاضر و دیرینه از نمودارهای مختلفی استفاده شد. با استفاده از نمودار Mn در مقابل نسبت Sr/Na می‌توان کربنات‌های حاره‌ای دیرینه و عهد حاضر را از معادل‌های غیر حاره‌ای آنها تفکیک کرد (Winefeld et al., 1996; Adabi and Asadi Mehmandosti, 2008; Adabi et al., 2010; Khatibi Mehr and Adabi, 2014). سنگ آهک‌های آراگونیتی حاره‌ای عهد حاضر دارای مقادیر منگنز پایین و نسبت Sr/Na بالا می‌باشند (Milliman, 1974). در حالی‌که در سنگ آهک‌های کلسیتی عهد حاضر و آهک‌های کلسیتی دیرینه، مقدار منگنز بالا و نسبت Sr/Na پایین (کمتر از ۱) است (آدابی، ۱۳۹۰). همچنین میزان پایین منگنز در کربنات‌ها به تبادل کمتر آب به سنگ نسبت داده می‌شود (آدابی، ۱۳۹۰). ترسیم مقادیر Mn در مقابل نسبت Sr/Na نشان می‌دهد که نسبت Sr/Na در نمونه‌های سنگ آهکی سازند قم در منطقه

در منطقه مورد مطالعه با توجه به نوع بافت رسوبی و آلوکم‌های اسکلتی غالب، ریزرخساره پکستون حاوی مرجان و جلبک قرمز، احتمالاً در بخش‌های انتهایی شلف داخلی، ریزرخساره‌های دربرگیرنده جلبک قرمز، فرامینیفیر بنتیک با دیواره هیالین و قطعات خارپوست در بخش‌های ابتدایی شلف میانی و ریزرخساره وکستون حاوی بایوکلاست فرامینیفیر جلبک قرمز و پلانکتون، در بخش انتهایی شلف میانی برجای گذاشته شده‌اند. به‌طور کلی می‌توان بیان

جدول ۱. نتایج تجزیه‌های شیمیایی عناصر اصلی و فرعی برای سنگ آهک‌های سازند قم در برش کانسار مادآباد. مقادیر منبسط و کلسیم بر حسب درصد وزنی و سایر عناصر بر حسب پی‌پی‌ام می‌باشد

Sample No.	M40	M41	M42	M43	M44	M45	M47	M48	M50	M51
Mg	0.30	0.20	0.25	0.40	0.27	0.28	0.35	0.30	0.18	0.20
Ca	38.52	39.02	39.09	38.33	39.26	39.33	38.32	39.61	39.50	39.38
Sr	416	394	430	599	310	346	425	197	264	112
Na	371	371<	371<	371<	371<	371<	371<	371<	371<	371<
Fe	1136	718	1385	1061	593	557	951	492	891	664
Mn	36	67	31	26	37	41	40	75	26	102
Sample No.	M52	M53	M54	M55	M56	M57	M58	M60	M62	M63
Mg	0.20	0.25	0.29	0.30	0.25	0.18	0.15	0.59	0.52	0.70
Ca	39.23	39.2	39.35	39.41	39.09	39.95	40.01	37.64	37.33	36.43
Sr	297	296	349	420	257	272	241	230	379	247
Na	-	371<	371	445	371	519	371	445	371	519
Fe	476	538	675	379	682	148	234	1954	1600	3653
Mn	51	22	41	43	71	26	27	53	36	42



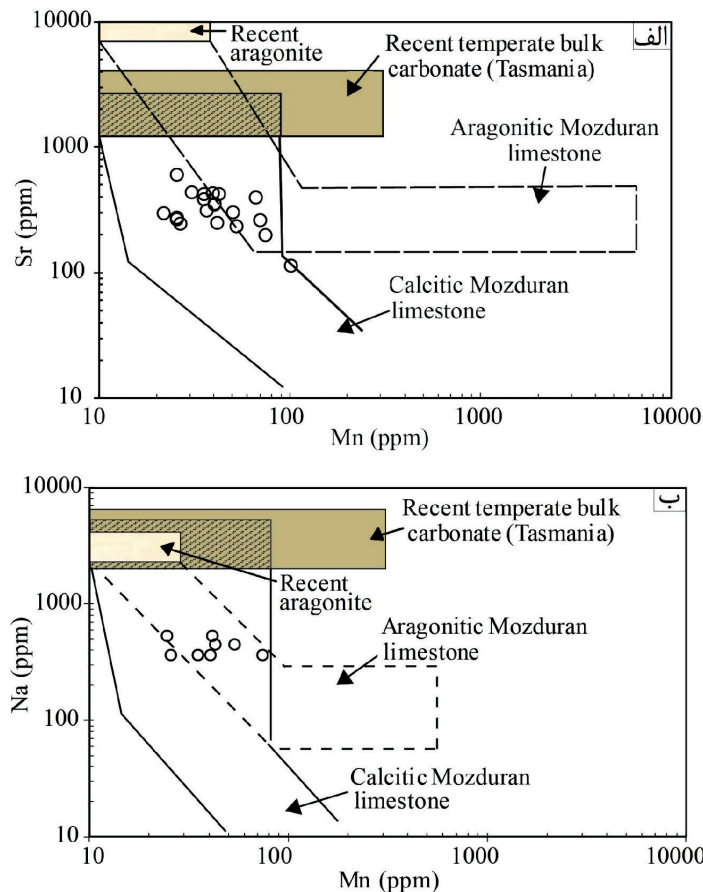
شکل ۵. موقعیت نمونه‌های سنگ آهکی سازند قم در برش کانسار مادآباد بر روی: الف) نمودار Mn در مقابل Sr/Na، ب) نمودار Sr در مقابل Na. برای مقایسه، محدوده‌های مربوط به کربنات‌های آراگونیتی حاره‌ای عهد حاضر (Milliman, 1994)، نمونه‌های کل کربنات‌ها مناطق معتدله عهد حاضر (Rao, 1991)، سنگ‌های آراگونیتی حاره‌ای اردوئین گوردون تاسمانیا (Rao, 1991)، و سنگ آهک‌های آراگونیتی مزدوران (Adabi and Rao, 1991) و فسیل‌ها و سنگ آهک‌های نیمه‌قطبی پرمین تاسمانیا (Rao, 1991) نیز ارائه شده است

که بیشتر نمونه‌های سنگ آهکی سازند قم در منطقه مورد مطالعه، در داخل محدوده کلسیتی سرد نیمه‌قطبی پرمین تاسمانیا، در استرالیا (Rao, 1991) واقع شده و دارای ترکیب کانی‌شناسی اولیه کلسیتی بوده‌اند.

مقایسه تغییرات Sr و Na در مقابل Mn در سنگ‌های آهکی سازند قم در منطقه مادآباد با محدوده‌های سنگ‌های آهکی آراگونیتی و کلسیتی سازند مزدوران (Adabi and Rao, 1991) و نمونه‌های کل کربناته مناطق معتدله عهد حاضر (Rao and Adabi, 1992) نشان می‌دهد که میزان استرانسیم در سنگ آهک‌های منطقه مورد مطالعه پایین‌تر از مقادیر معادل‌های عهد حاضر آنها بوده و در محدوده کلسیتی کربنات‌های مزدوران قرار گرفته است (شکل ۶). این نمودارها نیز بیانگر ترکیب کانی‌شناسی اولیه کلسیتی برای سنگ‌های آهکی سازند قم در منطقه مادآباد می‌باشند.

مادآباد کمتر از یک است به‌طوریکه اغلب نمونه‌ها در داخل یا نزدیکی محدوده‌های سنگ آهک‌های کلسیتی مناطق معتدله تاسمانیا قرار می‌گیرند (شکل ۵-الف). براساس این نمودار، سنگ‌های آهکی سازند قم در منطقه مادآباد احتمالاً دارای ترکیب کانی‌شناسی اولیه کلسیتی هستند.

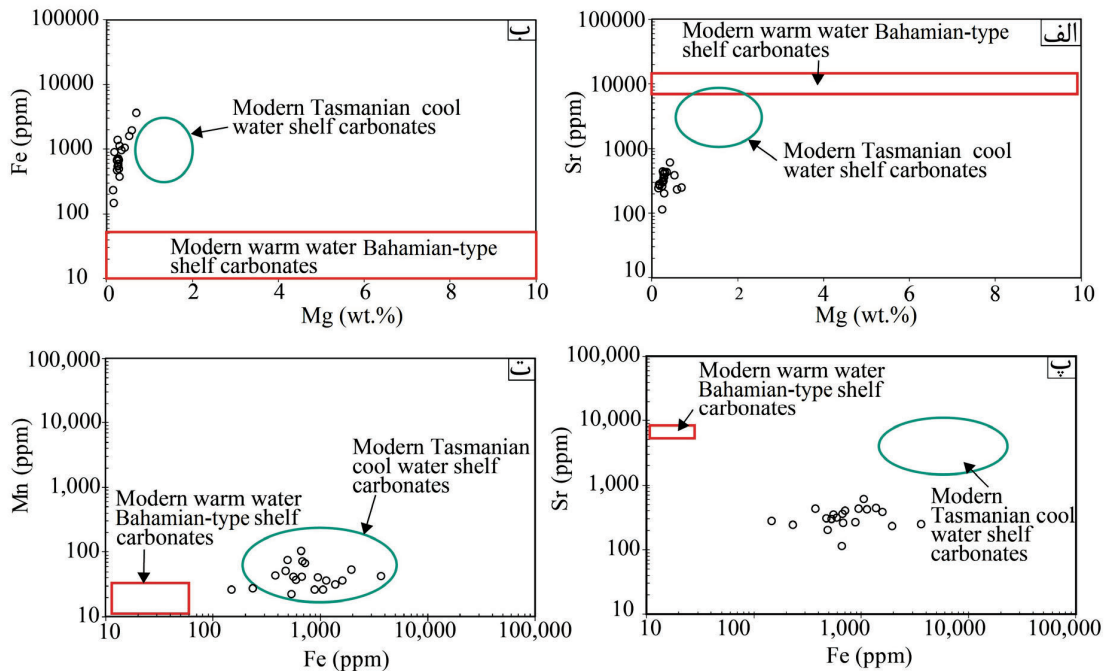
به‌طور معمول از مقادیر استرانسیم برای بررسی شرایط دیاژنزی، محیط دیرینه و تعیین ترکیب کانی‌شناسی اولیه رسوبات کربناته استفاده می‌شود (Veizer and Demovic, 1973; Heydari et al., 2008; Adabi et al., 2010). نتایج به‌دست آمده از تجزیه‌های شیمیایی سنگ آهک‌های سازند قم در منطقه مورد مطالعه حاکی از آن است که مقادیر استرانسیم و سدیم در این نمونه‌ها به‌ترتیب بین ۱۱۲ تا ۵۹۹ و ۳۷۱ تا ۵۱۹ پی‌پی‌ام در نوسان است. ترسیم این داده‌ها بر روی نمودار Sr در مقابل Na (شکل ۵-ب) نشان می‌دهد



شکل ۶. موقعیت نمونه‌های سنگ آهکی سازند قم در برش کانسار مادآباد بر روی: الف) نمودار Sr در مقابل Mn، ب) نمودار Na در مقابل Mn. برای مقایسه، محدوده‌های مربوط به نمونه‌های کل کربناته مناطق معتدله عهد حاضر (Rao and Adabi, 1992) و سنگ آهک‌های آراگونیتی و کلسیتی مزدوران (Adabi and Rao, 1991) نیز ارائه شده است

است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، نمونه‌های سنگ آهکی سازند قم در منطقه مادآباد در نزدیکی و یا در داخل محدوده کربنات‌های شلف آب‌های سرد عهد حاضر تاسمانیا قرار گرفته است و دارای ترکیب کانی‌شناسی اولیه کلسیتی می‌باشند که با نتایج حاصل از مطالعات پتروگرافی مطابقت دارد.

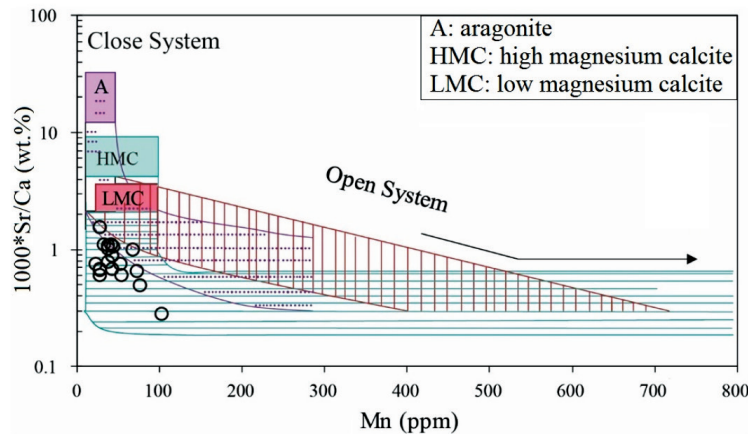
به‌منظور تأیید کانی‌شناسی اولیه کلسیتی برای نمونه‌های کربناتی سازند قم در منطقه مورد مطالعه، از نمودارهای ارائه شده توسط راثو (Rao, 1996) استفاده شده است (شکل ۷). در این شکل محدوده کربنات‌های شلف آب‌های گرم عهد حاضر نوع باهاما با ترکیب کانی‌شناسی آراگونیتی و کلسیت پرمینیم و کربنات‌های شلف آب‌های سرد عهد حاضر تاسمانیا با ترکیب کانی‌شناسی کلسیتی نیز نشان داده شده



شکل ۷. موقعیت نمونه‌های سنگ آهکی سازند قم در برش کانسار مادآباد بر روی نمودارهای ارائه‌شده توسط راثو (Rao, 1996). برای مقایسه، محدوده‌های مربوط به کربنات‌های شلف آب‌های گرم عهد حاضر نوع باهاما و کربنات‌های شلف آب‌های سرد عهد حاضر تاسمانیا نیز ارائه شده است. در هر یک از شکل‌های الف تا د، همان‌گونه که مشخص است نمونه‌های سنگ آهکی سازند قم در منطقه مورد مطالعه (داویر خالی) در نزدیکی و داخل محدوده کربنات‌های شلف آب‌های سرد عهد حاضر تاسمانیا قرار گرفته که دارای ترکیب کانی‌شناسی اولیه کلسیتی می‌باشند، قرار گرفته است

(HMC) و کلسیت کم منیزیم (LMC) (Brand and Veizer, 1980) نیز در این نمودار نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، نمونه‌های کربناتی سازند قم در منطقه مادآباد دارای مقادیر پایین (کمتر از یک) نسبت استرانسیم بهنجارشده به کلسیت و تغییرات ناچیز Mn بوده و در محدوده کلسیت‌های پرمینیم قرار می‌گیرند. این امر می‌تواند ناشی از بسته تا نیمه بسته بودن سیستم دیاژنتیکی در این توالی باشد.

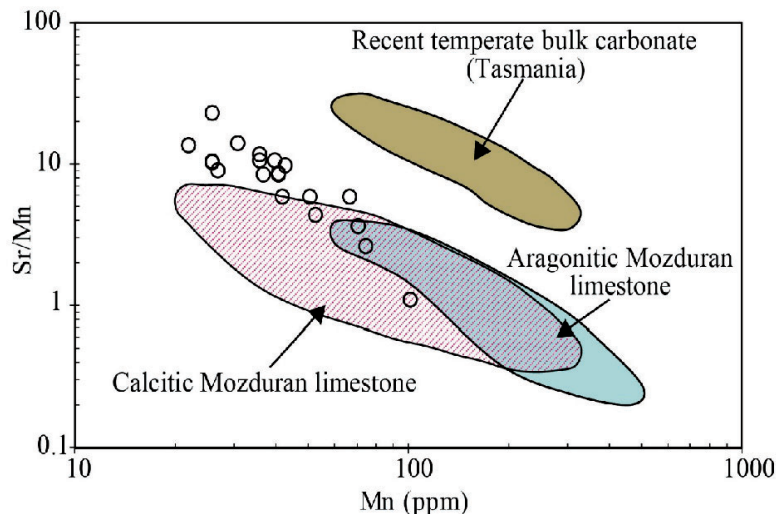
براساس نسبت استرانسیم بهنجارشده به کلسیت ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) در مقابل Mn، روند دیاژنز در سیستم‌های بسته و باز قابل تعیین است (Veizer, 1983). در سامانه‌های دیاژنتی بسته، میزان منگنز کاهش می‌یابد (Brand et al., 2006). در شکل ۸ تغییرات مقادیر $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ در مقابل Mn برای نمونه‌های کربناتی سازند قم در منطقه مادآباد نشان داده شده است. برای مقایسه، محدوده‌های مربوط به روندهای دیاژنتیکی آراگونیت (A)، کلسیت پرمینیم



شکل ۸. موقعیت نمونه‌های سنگ آهکی سازند قم در برش کانسار مادآباد بر روی نمودار نسبت $1000 \cdot \text{Sr}/\text{Ca}$ در مقابل Mn . برای مقایسه، محدوده‌های ارائه شده برای روند دیازنتیکی آراگونیت (A)، کلسیت پر منیزیم (HMC) و کلسیت کم منیزیم (LMC) (Brand and Veizer, 1980) نیز ارائه شده است

موقعیت قرارگیری این نمونه‌ها بر روی نمودار نسبت Sr/Mn در برابر Mn (شکل ۹) نشان می‌دهد نمونه‌های کربناته سازند قم در مقایسه با کربنات‌های کلسیتی سازند مزدوران دارای مقادیر بیشتر نسبت Sr/Mn هستند. این امر بیانگر تأثیر کمتر فرآیندهای دیازنتزی و انحلال بر روی کربنات‌های سازند قم در منطقه مادآباد و حاکی از بسته تا نیمه بسته بودن سیستم دیازنتیکی است. این نتیجه گیری با ترسیم مقادیر Sr/Ca در مقابل Mn (شکل ۸) نیز تأیید می‌شود.

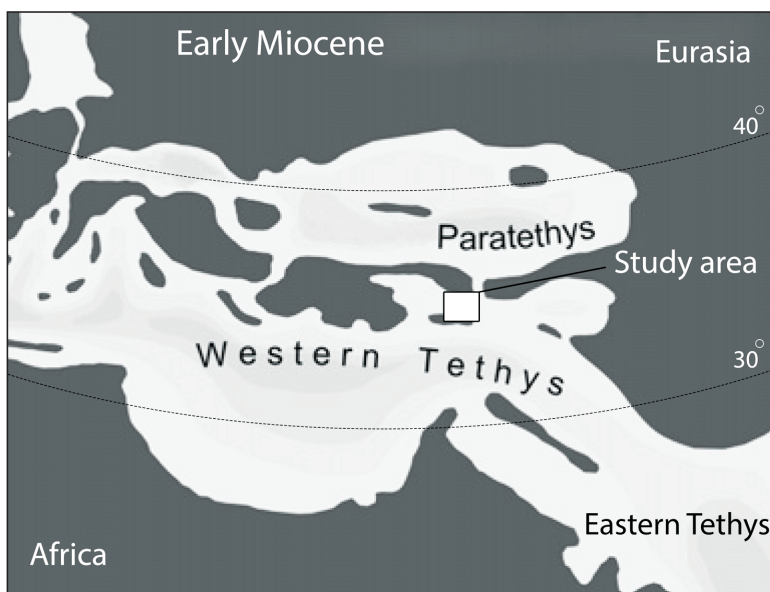
رسم نسبت Sr/Mn در برابر Mn به عنوان معیاری مفید برای برآورد میزان انحلال سنگ‌های کربناته کاربرد دارد (Rao, 1991). در اثر انحلال، آراگونیت و کلسیت پر منیزیم ناپایدار شده و به کلسیت کم منیزیم پایدار تبدیل می‌شوند. این فرآیند موجب کاهش چشمگیر میزان استرانسیم و افزایش میزان منگنز می‌شود (Budd, 2002). نمونه‌های آهکی سازند قم در منطقه مادآباد دارای نسبت Sr/Mn بالا (بین ۱ تا ۱۳) و مقدار Mn پایین تا متوسط می‌باشند.



شکل ۹. موقعیت نمونه‌های سنگ آهکی سازند قم در برش کانسار مادآباد بر روی نمودار نسبت Sr/Mn در مقابل Mn . برای مقایسه، محدوده‌های مربوط به نمونه‌های کل کربناته مناطق معتدله عهد حاضر (Rao and Adabi, 1992, Rao and Amini, 1995) و سنگ آهک‌های آراگونیتی و کلسیتی مزدوران (Adabi and Rao, 1991) نیز ارائه شده است. این نمودار بیانگر تأثیر کمتر فرآیندهای دیازنتزی و انحلال و بسته بودن سیستم دیازنتیکی برای سنگ آهک‌های سازند قم در این منطقه است

سازندهای کربناته آسماری (به سن الیگوسن-میوسن) و دالان (به سن پرمین) که به ترتیب به‌عنوان بزرگ‌ترین مخازن نفتی و گازی ایران محسوب می‌شوند، دارای ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی بوده و فرآیندهای دیاژنزی و انحلال نقش به‌سزایی در افزایش کیفیت مخزنی آنها داشته‌اند (Honarmand and Amini, 2012; Adabi et al., 2017; Jafarian et al., 2016; al., 2016). در مقابل، همان‌گونه که در مطالب بالا توضیح داده شد، سازند قم دارای ترکیب کانی‌شناسی کلسیتی با میزان انحلال پایین می‌باشد. بنابراین، فرآیندهای دیاژنزی به‌ویژه انحلال نقش چندانی در بالا رفتن کیفیت مخزنی این سازند نداشته است. لذا، عامل اصلی در بالا رفتن کیفیت مخزنی سازند قم در میدان‌های گازی ایران مرکزی (نظیر میدان‌های سراج و البرز) را می‌توان به وجود درزه‌ها و گسل‌ها نسبت داد. این مطلب توسط کرمی موحد و همکاران (Karami-Movahed, et al., 2016) نیز اشاره شده است.

موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه جغرافیایی دیرینه زمان میوسن (Harzhauser and Piller, 2007)، بیانگر قرارگیری این منطقه در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه شمالی می‌باشد (شکل ۱۰). این امر تأییدی بر رسوب‌گذاری سازند قم در منطقه متعلق به کربنات‌های مناطق معتدله (temperate carbonate) و دلیلی بر ترکیب کانی‌شناسی اولیه کلسیتی برای کربنات‌های این سازند است که با نتایج مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمیایی هم‌خوانی دارد. ترکیب کانی‌شناسی اولیه سازند قم با سازند معادل آن در حوضه رسوبی زاگرس (سازند آسماری)، به دلیل رسوب‌گذاری سازند آسماری در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر (حدود ۲۰ درجه شمالی) متفاوت می‌باشد. مطالعات انجام‌شده بر روی سازند آسماری بیانگر ترکیب کانی‌شناسی اولیه آراگونیتی برای نهشته‌های کربناته این سازند می‌باشد (کریمی مصدق و همکاران، ۱۳۸۹؛ کاک‌مم و همکاران، ۱۳۹۳).



شکل ۱۰. موقعیت قرارگیری منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه جغرافیای دیرینه زمان میوسن (با اندکی تغییرات از Harzhauser and Piller, 2007)

نتیجه‌گیری

پتروگرافی، سنگ‌های آهکی سازند قم در منطقه مادآباد از آلوم‌های اسکلتی با زمینه‌ای از گل کربناته و به‌صورت بافت گل پشته‌باز (وکستون) و گاهی دانه پشته‌باز (پکستون) تشکیل شده‌اند. نتایج این مطالعات بیانگر نقش ناچیز

سازند قم در برش کانسار مادآباد ۱۹۰ متر ستبراً داشته و از سنگ آهک‌های ضخیم‌لایه تا توده‌ای، سنگ آهک مارنی و مارن تشکیل شده است. براساس نتایج مطالعات

۱۳۹۵. زیست‌چینه‌نگاری و محیط رسوبی سازند قم در برش تلن‌کوه (جنوب‌باختری سمنان). رسوب‌شناسی کاربردی، ۷، ۱۰۱-۱۱۶.

- شهیدی، ع. و بهار فیروزی، خ.، ۱۳۸۰. نقشه زمین‌شناسی حلب، مقیاس ۱:۱۰۰،۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- عالی‌پور، ش.، میرزایی عطاءآبادی، م.، زهدی، ا. و رحمانی، ع.، ۱۳۹۵. چینه‌شناسی و ریزرخساره‌های سازند قم در منطقه قمچقایی، جنوب زنجان. یازدهمین همایش انجمن دیرینه‌شناسی ایران، ۱۷-۱۸ اسفند ۱۳۹۵، دانشگاه پیام نور طیس، ۱۹۰.

- علوی نائینی، م.، ۱۳۷۲. نقشه زمین‌شناسی خدابنده-سلطانیه، مقیاس ۱:۱۰۰،۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- کاک‌مم، ا.، آدابی، م.ح. و صادقی، ع.، ۱۳۹۳. دیاژنز میکروفاسیس و تعیین کانی‌شناسی اولیه کربنات‌های سازند آسماری در برش کوه ریگ، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، ۳۱، ۹۱-۱۰۶.

- کریمی مصدق، ز.، آدابی، م.ح. و صادقی، ع.، ۱۳۸۹. ژئوشیمی سازند آسماری در مقاطع سطح‌الارضی تنگ سپو و تنگ بن در ناحیه استان کهگیلویه و بویراحد، فصلنامه علوم زمین، ۷۶، ۲۳-۳۲.

- محمدیان اصفهانی، م.، صفری، ا. و وزیری مقدم، ح.، ۱۳۹۲. بررسی ریزرخساره‌ها و محیط رسوبی سازند قم در ناحیه بیجگان (شمال شرق دلیجان). رخساره‌های رسوبی، ۶، ۶۵-۷۶.

- نوری، م.، ۱۳۹۷. زمین‌شناسی، ژئوشیمی و خاستگاه کانسار سلسنتین مادآباد، باختر قیدار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه زنجان. ۱۱۲.

- Adabi, M.H. and Asadi Mehmandosti, E., 2008. Microfacies and geochemistry of the Ilam Formation in the Tang-E Rashid area, Izeh, S.W. Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 33, 267-277.

- Adabi, M.H. and Rao, C.P., 1991. Petrographic and geochemical evidence for original aragonitic mineralogy of Upper Jurassic carbonates (Mozduran Formation), Sarakhs area, Iran. *Sedimentary Geology*, 72, 253-267.

پدیده‌های دیاژنتیکی نظیر انحلال در این سنگ‌ها و تأییدی بر کانی‌شناسی اولیه کلسیتی آنها است. پنج ریزرخساره اصلی در بخش‌های سنگ آهکی سازند قم در منطقه مادآباد قابل شناسایی است. توزیع فرامینیفرها و سایر اجزاء اسکلتی و غیر اسکلتی و همچنین تغییرات جانبی و عمودی ریزرخساره‌ها نشان می‌دهد که مدل رخساره‌ای سازند قم در برش مذکور در پلت‌فرم‌های کربناته نوع شلف نهشته شده است.

تغییرات Mn در مقابل نسبت Sr/Na و Sr در مقابل Na برای نمونه‌های سنگ آهکی سازند قم در منطقه مادآباد و مقایسه آنها با محدوده‌های کلسیتی و آراگونیتی بیانگر ترکیب کانی‌شناسی اولیه کلسیتی آنها می‌باشد. این نمونه‌ها دارای مقادیر پایین (کمتر از یک) نسبت استرانسیم به‌نچار شده به کلسیت ($^{87}\text{Sr}/\text{Ca}$) و تغییرات ناچیز Mn بوده و در محدوده کلسیت‌های پُر منیزیم قرار می‌گیرند. از طرف دیگر، این نمونه‌ها دارای نسبت Sr/Mn بالا (بین ۱ تا ۱۳) و مقدار Mn پایین تا متوسط می‌باشند. این امر بیانگر تأثیر کم فرآیندهای انحلال بوده و می‌تواند دلیلی بر بسته تا نیمه بسته بودن سیستم دیاژنتیکی باشد. شواهد مذکور بیانگر نقش کلیدی شکستگی‌ها در مقایسه با فرآیندهای دیاژنتزی و انحلال در بالا رفتن کیفیت مخزنی سازند قم در میدان‌های گازی ایران مرکزی (نظیر میدان‌های سراج و البرز) است.

منابع

- آدابی، م.ح.، ۱۳۹۰. ژئوشیمی رسوبی، انتشارات آریز زمین، چاپ دوم، ۵۰۳.

- آقاناتی، س.ع.، ۱۳۸۳. زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ۵۸۶.

- پورمحمدی، س.، ۱۳۹۲. سکانس استراتیگرافی و بیوفاسیس سازند قم در برش دهشیر بالا (جنوب غرب زنجان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، ۲۹۱.

- ربانی، ج. و زهدی، ا.، ۱۳۹۶. تحلیل شرایط پالئوآکولوژی کلنی‌های مرجانی ریف‌ساز میوسن پیشین در شمال‌باختر زنجان. چهارمین همایش منطقه‌ای تغییر اقلیم و گرمایش زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، ۵.

- حسینی‌نژاد، س.م.، رامه، ح. و اهری‌پور، ر.،

- Adabi, M.H., Kakemem, U. and Sadeghi, A., 2016. Sedimentary facies, depositional environment, and sequence stratigraphy of Oligocene-Miocene shallow water carbonate from the Rig Mountain, Zagros basin (SW Iran). *Carbonates and Evaporites*, 31, 69-85.
- Adabi, M.H., Salehi, M.A. and Ghaveishavi, A., 2010. Depositional environment, sequence stratigraphy and geochemistry of Lower Cretaceous carbonates (Fahliyan Formation), southwest Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 39, 148-160.
- Brand, U. and Veizer, J., 1980. Chemical diagenesis of multicomponent carbonate system, II, stable isotopes. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51, 987-997.
- Brand, U., Azmy, K. and Veizer, J., 2006. Evaluation of the salinic I tectonic, Cancaniri glacial and Ireviken biotic events: Biochemostratigraphy of the Lower Silurian succession in the Niagara Gorge area, Canada and U.S.A. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 241, 192-213.
- Budd, D., 2002. The relative roles of compaction and early cementation in the destruction of permeability in carbonate grainstones: A case study from the Paleogene of west-central Florida. *Journal of Sedimentary Research*, 72, 116-128.
- Daneshian, J. and Ramezani-Dana, L., 2007. Early Miocene benthic foraminifera and biostratigraphy of the Qom Formation, Deh Namak, Central Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*, 29, 844-858.
- Dickson, J.A.D., 1966. Carbonate identification and genesis as revealed by staining. *Journal of Sedimentary Petrology*, 36, 491-505.
- Dunham, R.J., 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Ham, W.E., (ed.), *Classification of carbonate rocks*. American Association of Petroleum Geologists Memoir, 1, 108-121.
- Flügel, E., 2010. *Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis Interpretation and Application*. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 976.
- Furrer, M.A. and Soder, P.A., 1955. The Oligo-Miocene Formation in the Qom region (Iran). *Proceeding. 4th World Petroleum Congress*, 6-15 June, Roma, Italy, 267-277.
- Harzhauser, M. and Piller, W.E., 2007. Benchmark data of a changing sea-palaeogeography, palaeobiogeography and events in the Central Paratethys during the Miocene. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 253, 8-31.
- Heydari, E., Arzani, N. and Hassanzadeh, J., 2008. Mantle plume: The invisible serial killer-application to the Permian-Triassic boundary mass extinction. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 264, 147-162.
- Honarmand, J. and Amini, A., 2012. Diagenetic processes and reservoir properties in the ooid grainstones of the Asmari Formation, Cheshmeh Khush Oil Field, SW Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 81, 70-79.
- Jafarian, A., Javanbakht, M., Koeshidayatullah, A., Pimentel, N., Salad Hersi, O., Yahyaie, A. and Beigi, M., 2017. Paleoenvironmental, diagenetic, and eustatic controls on the Permo-Triassic carbonate-evaporite reservoir quality, Upper Dalan and Kangan formations, Lavan Gas Field, Zagros Basin. *Geological Journal*, 53, 1442-1457.
- Karami-Movahed, F., Aleali, M. and Ghazanfari, P., 2016. Facies analysis, depositional environment and diagenetic features of the Qom Formation in the Saran Semnan, Central Iran.

Open Journal of Geology, 6, 349-362.

- Khatibi Mehr, M. and Adabi, M.H., 2014. Microfacies and geochemical evidence for original aragonite mineralogy of a foraminifera-dominated carbonate ramp system in the late Paleocene to Middle Eocene, Alborz basin, Iran. Carbonates and Evaporites, 13, 127-148.

- Milliman, J., 1974. Marine Carbonates Recent Sedimentary Carbonates, Part 1. Springer-Verlag, New York, 375.

- Mohammadi, E., Safari, A., Vaziri Moghaddam, H., Vaziri, M.R., and Ghaedi, M., 2011. Microfacies analysis and paleoenvironmental interpretation of the Qom Formation, south of the Kashan, Central Iran. Carbonates and Evaporites, 26, 255-271.

- Okhravi, R. and Amini, A., 1998. An example of mixed carbonate-pyroclastic sedimentation (Miocene, Central Basin, Iran). Sedimentary Geology, 118, 37-54.

- Rao, C.P., 1991. Geochemical differences between subtropical (Ordovician), temperate (Recent and Pleistocene) and subpolar (Permian) carbonates, Tasmania, Australia. Carbonates and Evaporites, 6, 83-106.

- Rao, C.P., 1996. Modern Carbonates Tropical Temperate Polar. Introduction to Sedimentology and Geochemistry. Howrah, Tasmania, 206.

- Rao, C.P. and Adabi, M.H., 1992. Carbonate minerals, major and minor elements and oxygen and carbon isotopes and their variation with water depth in cool, temperate carbonates, western Tasmania, Australia. Marine Geology, 103, 249-272.

- Rao, C.P. and Amini, Z.Z., 1995. Faunal

relationship to grain-size, mineralogy and geochemistry in recent temperate shelf. Carbonates, western Tasmania, Australia. Carbonates and Evaporites, 10, 114-123.

- Reuter, M., Piller, W.E., Harzhauser, M., Mandic, O., Berning, B., Rogl, F., Kroh, A., Aubry, M.P., Wielandt-Schuster, U. and Hamedani, A., 2009. The Oligo-Miocene Qom Formation (Iran): Evidence for an Early Burdigalian restriction of Tethyan Seaway and closure of its Iranian gateways. International Journal of Earth Sciences, 98, 627-650.

- Schuster, F. and Wielandt, U., 1999. Oligocene and early Miocene coral faunas from Iran: paleoecology and paleobiogeography. International Journal of Earth Sciences, 88, 571-581.

- Vaziri-Moghaddam, H. and Torabi, H., 2004. Biofacies and sequence stratigraphy of the Oligocene succession, Central basin, Iran. Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, 6, 321-344.

- Veizer, J., 1983. Trace elements and isotopes in sedimentary carbonates, Reviews in Mineralogy and Geochemistry, 11, 265-299.

- Veizer, J. and Demovic, R., 1973. Environmental and climatic controlled fractionation of elements in the Mesozoic carbonate sequence of the western Carpathians. Journal of Sedimentary Petrology, 43,1, 258-271.

- Winefeld, P.R., Nelson C.S. and Hodder, A.P.W., 1996. Discriminating temperate carbonates and their diagenetic environments using bulk elemental geochemistry, a reconnaissance study based on New Zealand Cenozoic limestones. Carbonates and Evaporites, 11, 19-31.